

第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム
オープニングパネルディスカッション

シミュレーションとデザイン

12月11日(木) 14:10~17:30

数理シミュレーションは計算機が特に優位性を持つ分野として研究され、既に長い歴史を持っている。しかし計算速度の大幅な向上、経済的なソフトの登場、そしてBIMを介したデータ移動などによって活用の頻度と試行錯誤フィードバックが飛躍的に増え、ついにデザインの方法と結果を変えるところにまで到達している。シミュレーションによるデザインによって生まれた最近注目の建築の実例をもとに考える。

モデレータ／趣旨説明

池田靖史（慶応義塾大学）

1. 招待講演

大量生産からマスカスタマイゼーションへ

山梨知彦（日建設計）

2. 招待講演

構造デジタルエンジニアリング（仮題）

金田充弘（東京藝術大学）

3. 招待講演

ドイツの建築物燃費計算プログラムの日本への適応

松尾和也（松尾設計室）

4. 討論

大量生産からマスカスタマイゼーションへ

○山梨 知彦*¹

キーワード：マスカスタマイゼーション、コンピューショナルデザイン、ICT、BIM

■ICT が建築を変える

ICT の出現以来、多くの産業がそれに由来する大きな変革を余儀なくされている。建築産業も御多分に漏れず、大きな変革を遂げつつあるようだ。

例えば、BIM(Building Information Model)や、コンピューショナルデザインと言った言葉が急速に一般化し、建築専門誌やメディアの中で見られるようになったことも、ICT による建設産業の変革が身近に及んでいる最たる例であるといえるだろう。

本論は、そうした状況を意匠設計実務者の立場から俯瞰し、「ICT が建築を変える」状況のアウトラインを描写しようという試みである。

■大量生産とドミノシステム

長期にわたって建築界が手本として来たのは、大量生産技術が確立し一般化されてきた自動車産業であった。

1890 年代後半に始まるアメリカの自動車生産は、1907 年の T 型フォードの登場により「大量生産」へと移行する。高品質でありながら一般に広く供給できる価格を実現するため、同一部材を繰り返し、早く、大量に造ることで効率を上げる大量生産技術が確立され、以後二十年間にわたり 1500 万台の T 型フォードが生産された。

当時、未だ手積み煉瓦の延長で生産がおこなわれていた建築に、T 型フォードの生産は、建築の新たな生産の可能性と美学とを示した。一般には、1914 年にル・コルビュジェが発表した「ドミノシステム」が、自動車の大量生産技術が建築界にもたらした直接的影響の証として位置づけられている。

確かに、ドミノシステムに見られる、同一形状の柱が同一スパンで繰り返される状況や、工場生産で生産された部材を規則正しく用いる思想は、手作りの状態にあった建築生産に、大量生産の哲学と美学とをもたらした。以後今日まで、特に大型建築において顕著であるが、ドミノシステムに見られた大量生産の美学と哲学が繰り返して実践された。実際に部材が大量生産されているか否かは別として、同一部材を同一スパンで繰り返す建築が合理的であると位置づけられ、今日に至っている。

■DTP が手本となる

しかしながら多くの建築は、実は一品生産である。東京

のビル街に行ってもよく似たビルが立ち並んではいるものの、微妙に異なっている。そこに使われている部材も、実はプロジェクトごとにオンデマンドで設計され、生産されているものが意外に多い。大量生産の技術に無縁ではないが、建築とは本質的に個別生産であり、必要に基づき設計し生産されるオンデマンド生産物であるといえる。

建築が模範とすべき産業は大量生産を旨とする自動車からのシフトが必要な状況となっている。筆者は DTP(デスクトップパブリッシング)にこそ、建築が学ぶべき新たな生産の在り方が見えるように思っている。

グーテンベルグの活版印刷の発明以来(1445年)、大量生産の権化ともいえる存在であった印刷技術が、ICT 技術、より具体的に言えばアップルが生み出したマッキントッシュというハードウェアと、アドビが生み出したページ記述言語と、その 2 つを結ぶアルダスが生み出したページメーカーというソフトウェアと、実際に印刷物を生み出すレーザープリンターが出そろったことで、高品質な印刷物が、必要に合わせて少量部数印刷ができるオンデマンド印刷へと変革を果たした。同時にマッキントッシュ上の画面で、最終的に紙の上にもどのように印刷されるかがシミュレーションできる「WYSIWYG (What you see is what you get)」の概念が出来て、一連の印刷に関わる作業が、一人でも高品質にこなせるようになってしまった。これが DTP の誕生で、1980 年代のことである。

大量生産に学んできたとはいえ、建築にまつわる作業の多くは一品生産のそれである。ICT が存在する以前においては、一品生産は即、生産物の高級化につながってしまった。また建築のような複雑なものを、ぶっつけ本番で作ることは、品質を保つ上でも難点があり、建築は自動車の大量生産に学ばざるを得なかった。しかし今、建築の設計や生産のプロセスに ICT が入り始めている。ICT を使うことで、以前では不可能であった、一品生産でありながらも必ずしも高級化につながらない生産体系を生み出し、ぶっつけ本番の生産でありながらもプロジェクトに固有なニーズを適切にとらえた高品質な建築を、リーズナブルな価格で一品生産することができないだろうか。その最大のヒントが DTP の中に見える気がしている。

■マスプロダクションからマスカスタマイゼーション

それでは、DTP を手本にした高品質で合理的な価格の

一品生産は、大量生産に対して何と呼ばれるべきであろうか。筆者はこれを、大量生産＝マスマプロダクションと対比的にとらえて「マスカスタマイゼーション」と呼びたいと考えている。これは筆者の造語ではなく、1990年代後半から2000年代にかけて、コンピューターを用いた柔軟な生産体制を総称するものとして登場した言葉だ。とはいえ、まだマスカスタマイゼーションは確立されたわけではなく、マスマプロダクションに代わる対概念として位置づけられているものである。

ただここで面白いのは、建設産業がそもそも個別生産品であり、生産総額で見れば高度経済成長期に比べ衰えたとはいえ未だGDPの1/10を占める一大セクタを形成しているという事実である。

元々が大量生産である他産業に比べ、本質的に一品生産である建設業がICTの利用によりマスカスタマイゼーションを確立する可能性は大きいのではなかろうか。斜陽にも見える建設関連産業が、他産業に先立ちマスカスタマイゼーションを成し遂げることで、先端産業へと変貌できる可能性もゼロとは言えない。

■建築における4つの変革

実際にICTの到来により、いかなる変革が建築の設計や生産の場で起こっているのだろうか。私自身は、次の4つの変革が起こり始めており、それら4つが適切に発展し相互に連動することで、建築の設計と生産におけるマスカスタマイゼーションの実現が可能ではないかと考えている。

1つ目の変革は、設計技術の変化である。読者はCADをまず思い浮かべるかもしれないが、CADは手書きの鉛筆をコンピューターで代用するコンピューターライズにすぎず、筆者は本質的変革とは考えていない。むしろコンピューターを利用した、風、光、力学、工事などの各種コンピューターシミュレーションが大きな変革をもたらしつつあると考えている。シミュレーションは、コンピューター内部のバーチャルな空間を利用した、実際の建設に先立つ試行錯誤であり、一品生産である建築物の品質を高める上で測り知れない可能性を持つものと考えている。

今後は、複数のシミュレーションをつなぎ、それらに対してバランスの取れた解を探る「多目的最適化」が一般化して、人間の直感を越えた設計が導き出されていく方向へと進むだろう。

2つ目の変革は、それこそが建築家の役割とされていたかたちを生成する技術の変化で、現在コンピューターショナルデザインであるとか、アルゴリズムックデザインであるとか、パラメトリックデザインと呼ばれている設計方法の登場と一般化である。すでに現実の作品が、こういった方法により生成しはじめられ、Rhinoceros+Grasshopperといったような扱いやすいツールも登場し、世界中で試行錯誤がなされている状況である。

3つ目の変革は、建物を造る技術の変化で、その代表的なものは、デジタルファブリケーションと呼ばれている、建設のプロセスにレーザーカッターやCNC工作機を導入して、一品生産を合理的に行おうとする試みである。最近ではここに、3Dプリンターやロボットアームが組み合わせられ、世界中の大学で、ブームとでも呼びたくなるほどに、多彩な研究がなされている。もちろんすでに実務においても使い始められ、成果を上げている。

4つ目は、今までにあげた3つの変革を取りまとめ統合する技術の変革である。かつてはトレーシングペーパー上に描かれていた2次元図面がその役割を担っていたわけであるが、上述した3つの変革がデジタルデータをベースにした技術である以上、もはやトレーシングペーパーでは歯が立たない。私はこれに代わるものとしてBIMを位置付ける。3次元のデジタル形態情報に加えて、コストなど種々の建築属性を持たせることができるBIMは、単なる2次元図面の置き換えではなく、建設界における全てのデジタル情報を統合するプラットフォームとして捉えることが適当であろう。

これら4つの変革が出そろった今、建設ビジネスは、マスマプロダクションから、本来あるべきマスカスタマイゼーションへの移行の準備がなんとか整ったように思える。

■建築をライフサイクルで捉える

実はこれまでに延べてきた4つの変化だけではまだ不十分ではないかと筆者は考えている。なぜならば4つの変革は、設計と建設の期間に留まり、建築を実際に運用する段階でのICTによる変革と連携していない。上記の4つのICTによる変革に加えて、運用に関わる変革を今後は統合していかなければならない。

例えば1つは、建設された状態をデジタル化したBIMのAs builtモデルがその基本であり、その上を流れるフローとして、人間の流動状態（セキュリティ）、ファシリティの流動状態（FM）、エネルギーの流動状態（BEMS）がデジタル情報として統合された状況になれば、設計から施工そして運用まで、建築にまつわる様々な作業がデジタル情報としてBIMをプラットフォームに統合される状態になる。ここにおいて、建築をライフサイクルで捉えることが出来る新しい段階へと建築関連ビジネスを昇華させようと筆者は考えている。LBIM=Life Cycle Building Information Management とでも呼ぶものが誕生するかもしれない。さらにその先、この概念は都市レベルに拡張されていくに違いない。

昨今のコンピューターショナルデザインやBIMの隆盛を見ると、この段階への到達はそう先のことでもなさそうにも思えるのだが。

ドイツの建築物燃費計算プログラムの日本への適応

○松尾 和也*¹

キーワード：構造 環境 計画 情報

現在、省エネ建築の世界はドイツを始めとする北欧が先行している感がある。特に1991年にドイツでパッシブハウス研究所のファイト博士がパッシブハウスの第一号建築物を建ててからはその傾向が強くなっている。パッシブハウスとは年間暖房負荷が15 kWh/m²年以下、(東京の次世代省エネ基準だと約90、次世代省エネより6倍程度厳しい)気密性能が50Paの元での気密試験において0.6回/h以下(日本のC値換算だと0.2~0.4相当の超高気密)年間1次エネルギーが120 kWh/m²以下の三条件を満たすものだけに与えられる民間基準である。暖房負荷が次世代省エネ基準の1/6ということを見ても分かるように日本から見ると超高断熱建築といえる。

日本には住宅の在庫が5700万戸あると言われているがこの中でこの基準を満たす住宅は20件に満たないと思われる。しかしながら、ドイツ国内では新築建築物の10%がこの基準をクリアしており、2020年にはEU全体の建築物全てにおいて、この基準が義務付けされると言われている。

この基準とは別にEUでは各国詳細は異なるが「エネルギーパス」というものがある。エネルギーパスとは暖房、冷房、換気、給湯、照明で消費する一次エネルギーを各国で定められた基準に基づき資格者が計算の上、表示する制度である。エネルギーパスは新築時にはもちろんのこと建築物を売却、賃貸する際にも計算が義務付けられており、日本で言うなら重要事項説明時に添付の上説明するということになっている。

日本ではこうした制度がないこと、また断熱性能に関する最低基準が存在しない、もしくは非常に緩いため、住宅、ビルに関わらず、クライアントが断熱性能、光熱費に劣る建築物を購入することが一般的である。断熱性能等に予算がかけられることは少なく、結果として大半のクライアントが暑さ、寒さ、多大なる光熱費を建築物が存続する限り背負い続けている。

EUではエネルギーパスが始まってからクライアントが賢い選択ができるようになっている。

日本においても「住宅・住戸の省エネルギー性能の判定プログラム」というものが存在する。このソフトを使えば5分程度で大まかな結果を得ることができるが、車に例えるなら燃費が5 km/L単位でしか出てこないような精度で

しかない。しかも、実際に計算結果を元に光熱費を計算すると実際の値よりもかなり低めの結果が出てくるのでクライアントへの説明に使うことはほぼ不可能である。

そこでドイツのパッシブハウス研究所のPHPPというソフトをベースに日本語化及び日本の実態に適応するように開発したのが「建もの燃費ナビ」というソフトである。これは実務者が1物件2時間程度で木造戸建住宅の燃費を計算するためのソフトである。なお、ここでいう燃費とは暖房負荷、冷房負荷、及び一次エネルギー消費量であるが、ソフトをアップデートしていく中で光熱費シミュレーションにも対応できるようになった。

そもそも日本では構造計算基準は世界で一番厳しいのではないかと考えられる。構造計算を行わずに建てられている建築物など今はほとんど存在しない。(木造の簡易計算は除く)しかしながら、熱環境においては逆に暖冷房負荷計算を行って設計している建物のほうが少ない。(大規模ビルは別)熱環境工学も工学の一分野である。よって計算してから建築すれば、多少のズレこそあれ、大体近い結果が得られるものである。しかしながら、大半の建築物及び建築士は暖冷房負荷計算の経験が一度もない。その状態で建築物が建て建っていくのでほとんどの建築物が暑くて寒く、光熱費がかかるというのは至極当たり前の話である。計算なしで設計してもそれなりの結果が出せるようになるのは何百回と計算経験を積んだ場合だけであるということは構造計算の世界と何ら変わらない。

日本では一次エネルギー規制が本格的に施行されようとしているが、これは低断熱建築に高効率設備や太陽光発電を載せることでカバーすることを認める精度である。EUではこれは絶対に認められない。まず最初に暖房負荷(冷房負荷)の時点で非常に厳しい規制がある。暖房負荷は主に断熱性、気密性、日射取得(冷房負荷の場合は日射遮蔽)で決まるもので、暖房器具(冷房器具)の効率等は関係ない。すなわち建物の素性そのものの暖かさ(涼しさ)に厳しい規制がかかっているといえる。

この制度を運用するに当たり、EUには建築物理コンサルタントという職業が存在する。日本の設計実務の世界では暖冷房負荷のことなど考えずに設計されたデザインが設備設計部門に渡され、いかに断熱性能が低くても力づくの冷暖房計画で「効く」ようにするのが一般的である。その状態で一次エネルギーがオーバーした場合は太陽光発電等でカバーするという手法が一般的である。日本では設備設計と設備施工業者が一体であることが多く、その結果設備設計費用はサービスになっていることも多い。この場合、容量が大きい暖冷房器具を設定したほうが売上が大きくなることから、法律が改正されない限りこの設計手法が改善される見込みは非常に少ない。また、いかに暖冷房負荷が劣悪な建築物でも冷暖房を「効かせる」ことができる設備設計者が腕の良い設備設計者とみなされる傾向にある。その結果、意匠設計者はやりたい放題、莫大なエネルギー消費と、CO2排出、クライアントは多額の光熱費を払い続けることになるが、日本の大半の建築物がこのような状況になっている。

EU（特に北欧）では意匠建築家と同等の立場で建築物理コンサルタントが君臨している。如何に著名建築家といえど、プランニング段階で冷暖房負荷をクリアしていなければ、設計変更を突きつけられることとなる。この場合、建築物理コンサルタントの腕は「如何に小さな設備容量で適切に冷暖房を効かせることができるか、その結果イニシャル、ランニングのトータルコストをどれだけ下げることができるか」が腕の見せどころとなっている。これも建築物理コンサルタントの立場と設計フィーが独立しているからこそ実現できることである。日本でもこのような制度の導入が望まれる。

パッシブハウス研究所が開発したPHPPでは住宅に限らず、一般建築も全て計算できるようになっている。しかしながら、建もの燃費ナビでは木造の戸建住宅に用途を絞って開発を行った。

まず最初にPHPPの特徴を下記に述べる。

- 過去20年以上にわたり、シミュレーション結果と実際の建築後の結果を擦り合わせて来た。その度に実際との乖離を埋めるべくプログラムが微修正を重ねきた。日本のプログラムではこれが一切なされていない。
- 実情に近い結果が出るようにするため、入力項目が非常に細かい。例を下記に記す。
 - 窓は枠と硝子を別々に計算
 - 熱交換換気システムを設置する場合はダクトの径、長さ、断熱材の厚みまで入力、また顕熱、潜熱の交換率を別々に入力
 - 方位入力も一度単位

- 近隣建物の影も考慮

このように非常に優れたエンジンであるが、日本の実務者が使うには英語という言葉の壁以外にも日本の実務者が使う上で超えなければならない点が多数存在した。以下に建もの燃費ナビの特徴を示す。

- 日本は入浴の文化がある。シャワー文化であるEUの給湯データは役に立たない。また日本とは給湯器が異なる。⇒日本の給湯エネルギー基準をそのまま採用
- 照明計画もEUは特に住居において、日本より相当薄暗い生活をしていること、また日本ではLED照明もかなり普及していることから照明計画も日本の基準を採用
- 日本では暖房設定温度20℃、(夜間は18℃)冷房設定温度27℃というのが一般的である。しかしEUでは暖房は24時間20℃、冷房は25℃しかも絶対湿度は12g/kgという日本人からすると過剰に快適ともいえる水準が標準計算となっている。そこで日本の水準において計算するようにした。
- PHPPはエンジンとしては長年の多大なるノウハウの集積を重ねた素晴らしいものである。しかしながら、エクセルのマクロプログラムということで、使い勝手は非常に原始的なものであった。この辺りは日本人とヨーロッパ人の趣向の違いが存在する。「多少使いづらくても自由度が高い」方を好むヨーロッパ人と「多少制約があっても使いやすい」方を好む日本人というところから、CPUというCADメーカーと共同開発することでプラン入力を行ったらBIMのように詳細データがPHPPに飛んで計算されるようにした。
- 暖冷房負荷、一次エネルギーだけでは実務者はもちろん、一般消費者にも非常にわかりにくい。そこで光熱費も表示するようにした。月別、燃料別、用途別において平均的な生活を行った場合の光熱費が計算されるようになっていく。

車であれば燃費を聞けば感覚がわかりやすいが、建築物になるとわかりづらいものである。これは車の世界が共通の基準に則って何十年も燃費を表示してきたという積み重ねがあるからこそ実現できているのである。建築業界においては「共通の基準」と「積み重ね」の両方が存在しない。

そこで光熱費以外にもわかりやすくするために「建もの省エネ×健康マップ」というサイトを作成した。

<http://tatemono-nenpi.com/map/>

誰でもそうであるが、「絶対評価」は非常に難しいが「相対評価」であれば感覚的につかみやすい。そこで大手住宅メーカーの性能を実名表示することで、性能を掴んでもらいやすくしている。

また、実務者が自分で計算し、私が理事を務めるパッシ

ブハウスジャパンで内容を確認し計算ミスがなければ、計算結果をこのサイトに掲載するサービスも行っている。

建ものの燃費は今まで「仕様」だけで語られることが多かった。しかしながら、当然設計による差も非常に大きい。かつてヘルツォーク&ド・ムーロンが来日した際に案内した日本の設計者に「日本の建築家は卑怯だ」と何度もつぶやいていたそうである。その日本の設計者はよく意味が分からなかったそうであるが、スイスを拠点に設計している彼らにとってはそう見えて当然であった。スイスもドイツに匹敵するくらい断熱性能、省エネ性能に関して非常に厳しい国だからである。如何に世界のヘルツォークといえど、国の基準に背いた設計はできないので、日本の建築家がシングルガラスをコーキングでとめるだけ、無断熱で建てているのを見て「こんなに無法地帯だったら何でもできる。」そういう意味で「日本の建築家は卑怯だ」という言葉が出たということである。燃費規制がないに等しい上、施工レベルは極めて高い日本という国は海外の意匠系建築家からすると、「世界デビューするための楽園」として映っているという話を聞くことがある。そして日本で賞を獲った外国人建築家はまた日本でもてはやされる。このような悪循環を断ち切ることができるのはやはり、一棟毎にきちんと計算を行うことでしか実現できないと考えている。